

Treball de Fi de Grau/Màster

## **Enginyeria en Tecnologies Industrials**

### **Estudi d'autoconsum amb generació fotovoltaica a instal·lacions de l'ETSEIB**

#### **MEMÒRIA**

**Autor:** Mireia Vilajosana Rodriguez  
**Director:** Roberto Villafáfila Robles  
**Convocatòria:** Gener 2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Actualment la Terra es troba a nivells alts dels gasos d'efecte hivernacle i de contaminants, és per això que s'està optant per les energies renovables a l'hora de generar energia. Una d'aquestes alternatives és utilitzar l'energia solar per a generar energia elèctrica.

En aquest estudi s'ha volgut estudiar el consum d'aquests tres pavellons per a poder determinar si es podrà abastir tota l'energia consumida a l'ETSEIB mitjançant l'energia produïda per les plaques fotovoltaïques. S'ha basat en la continuació de l'estudi realitzat sobre quin tipus de plaques solars es podrien utilitzar a l'ETSEIB en els pavellons D, E i F, la potència que tindrien, l'angle d'inclinació, etc.

En primer lloc, s'han obtingut les dades de generació fotovoltaïca a partir de la ubicació on es troba la universitat i la potència de la instal·lació fotovoltaïca utilitzant diferents softwares. Aquestes dades de diferents fonts s'han contrastat entre elles per així poder escollir les més adients per l'estudi. S'ha realitzat l'estudi amb la generació mensual, ja que no ha sigut possible obtenir la diària, el qual pot provocar que el projecte sigui menys precís.

En segon lloc, s'han analitzat les dades del consum dels pavellons D, E i F on s'han trobat punts anòmals que corregir per a poder obtenir una corba de consum la més precisa possible.

Per altra banda, també s'ha fet una comparació de les corbes dels anys 2018 i 2019 per estudiar si hi ha una variació en el consum per pavellons. Una diferència important d'un any respecte a l'altre podria provocar que l'estudi no fos suficientment precís i hi hauria anys on no seria necessari la instal·lació fotovoltaïca. S'ha observat com els pavellons D i F es comporten igual d'un any per l'altre. No obstant, en el pavelló E existeix una diferència molt gran en el consum de l'enllumenat que caldrà tenir en compte per a determinar si és factible instal·lar plaques fotovoltaïques.

Finalment, s'han comparat les corbes de generació i consum per a cada pavelló i s'ha observat com només en el pavelló F s'obtindrien excedents. Tot i això, en els altres dos pavellons es podria abastir més de la meitat del consum mensual el que suposaria una reducció de les despeses econòmiques en energia elèctrica i una reducció de l'impacte ambiental de l'edifici. Un altre valor afegit és que la inversió es recuperaria en uns 3 o 4 anys a causa de la reducció de les despeses en energia dels pavellons D i E.

# Sumari

<b>SUMARI</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>7</b>
1.1. Objectius del projecte .....	7
1.2. Abast del projecte .....	8
<b>2. ENERGIA SOLAR</b>	<b>9</b>
<b>3. TIPUS D'INSTAL·LACIONS D'AUTOCONSUM</b>	<b>11</b>
3.1. Instal·lació d'autoconsum aïllada .....	11
3.2. Instal·lació d'autoconsum connectada a la xarxa .....	11
3.2.1. Autoconsum sense excedents .....	12
3.2.2. Autoconsum amb excedents .....	12
3.2.3. Autoconsum amb venda d'excedents a la xarxa .....	12
<b>4. PANELLS SOLAR</b>	<b>13</b>
4.1. Tipus de panells .....	13
4.1.1. Monocristal·lins .....	13
4.1.2. Policristal·lins .....	13
4.1.3. Silici amorf .....	13
<b>5. LEGISLACIÓ</b>	<b>15</b>
<b>6. INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA</b>	<b>17</b>
6.1. Plaques fotovoltaïques .....	17
6.2. Inversors .....	17
<b>7. CÀLCUL DE LA GENERACIÓ</b>	<b>19</b>
7.1. PWATTS .....	19
7.2. PVGYS .....	21
7.3. PVSYST .....	23
7.4. Elecció del software .....	25
<b>8. ANÀLISI DEL CONSUM</b>	<b>27</b>
8.1. Comparació dels consums del 2018 i 2019 .....	34
8.2. Estalvi econòmic .....	37
<b>9. COMPARACIÓ DE LA CORBA DE CONSUM I GENERACIÓ</b>	<b>39</b>
<b>10. IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>45</b>

<b>11. ESTUDI ECONÒMIC</b>	<b>47</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>49</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>53</b>
Referències bibliogràfiques.....	53
<b>12. ANNEXES</b>	<b>55</b>
12.1. Exemple del programa PVWATTS.....	55
12.2. Gràfiques amb punts anòmals pavellons D i E .....	55



# 1. Introducció

Aquest projecte es basa en la continuació del treball de fi de grau de: *Estudi per a fer una instal·lació fotovoltaica al campus Sud* en el qual es va estudiar el tipus d'instal·lació fotovoltaica, els m<sup>2</sup> de panells, la orientació, la potència... A partir d'aquestes dades s'estudiarà la generació d'energia que proporcionaria aquesta instal·lació i una vegada simulada es contrastarà amb el consum de l'ETSEIB del 2018 per veure si una instal·lació fotovoltaica generaria l'energia suficient per abastir el consum dels pavellons. En aquest cas s'estudiaran els pavellons D, E i F.

Les energies renovables són necessàries per a poder reduir la contaminació i donat el canvi climàtic que està patint la Terra, és un bon punt començar en una universitat com és l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial on es consumeix molta energia i a més es disposa de teulades lliures per a poder instal·lar plaques fotovoltaïques.

A part de l'estalvi econòmic que suposaria tenir la instal·lació fotovoltaica en un lloc en el que hi ha un consum de llum important també es reduiria l'impacte ambiental aprofitant l'energia solar en una ciutat en la que la conscienciació sobre l'impacte ambiental està prenent molta rellevància.

## 1.1. Objectius del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és estudiar la viabilitat de l'autoconsum, mitjançant una instal·lació fotovoltaica, que es podria obtenir als pavellons D, E i F de l'ETSEIB. La generació d'energia es simularà a partir de diferents softwares per veure si abastiria el consum d'aquests pavellons. Per a veure la viabilitat s'hauran de seguir una sèrie de passos:

- Estudiar els diferents softwares que existeixen per a obtenir dades de generació a partir de les característiques de la instal·lació fotovoltaica i analitzar el seu funcionament per determinar quin s'adequa més a aquest projecte.
- Estudiar el consum de l'any 2018 per valorar si l'energia fotovoltaica abastiria el consum produint-se excedents o si no arribaria a abastir el consum total.
- Comparar les corbes del consum del 2018 i 2019 per veure com varien anualment els consums de cada pavelló
- Estudi de l'impacte ambiental, la inversió i el temps de recuperació d'aquesta per determinar la idoneïtat d'aquest projecte.

## 1.2. Abast del projecte

Aquest estudi es centra en la continuació del projecte que es va realitzar sobre quines característiques hauria de tenir la instal·lació fotovoltaica. Per tant, està restringit només als pavellons D, E i F de l'ETSEIB que són els que es van estudiar en el seu moment.

El treball comença amb l'estudi del funcionament de diferents softwares per poder obtenir les dades de generació d'una instal·lació fotovoltaica de les característiques esmentades en el projecte anterior. Els programes utilitzats són el *PVWATTS*, *PVGYS* i el *PVsyst*, dos d'aquests es poden utilitzar online i l'altre s'ha hagut d'instal·lar per a poder-lo utilitzar.

Es realitza un anàlisi de les dades del consum dels tres pavellons durant l'any 2018 per a poder obtenir la corba de consum d'aquests. Cal destacar que les dades que s'han obtingut tenien punts anòmals i en aquest anàlisi no s'ha realitzat un estudi estadístic per a poder obtenir les dades sinó que s'han realitzat mètodes més senzills per disposar d'aquestes.



## 2. Energia Solar

L'energia solar és una de les fonts d'energia més grans de la que es disposa i de la que es pot aprofitar tant la radiació solar com l'energia tèrmica. En aquest projecte es vol transformar la radiació solar en energia elèctrica mitjançant les plaques fotovoltaïques. No obstant, l'energia solar fotovoltaica tot i provenir d'una font d'energia renovable té els seus avantatges i els seus inconvenients. [1]

### Avantatges

- L'energia és renovable i per tant els seus recursos són il·limitats.
- És l'energia més abundant del planeta ja que supera en 20.000 vegades la que necessita tot el planeta.
- L'ús d'aquesta energia mitjançant plaques fotovoltaïques no produeix els gasos d'efecte hivernacle.
- Els panells tenen un cost de manteniment molt baix ja que només s'han de netejar una vegada a l'any.
- Es genera un bon estalvi econòmic i energètic tot i la inversió inicial.

### Inconvenients

- Es requereix d'una gran inversió inicial.
- La producció d'energia varia en funció de la presència del sol.
- Requereix molt d'espai per a poder instal·lar les plaques solars.



### 3. Tipus d'instal·lacions d'autoconsum

Les instal·lacions amb generació fotovoltaica només tenen consum energètic si hi ha recurs solar i aquest es dona en major proporció a les hores centrals del dia quan hi ha més sol. Per tant, s'ha de veure si es combina amb bateries i es fa ús d'aquesta energia emmagatzemada a les hores on no hi hagi suficient generació fotovoltaica o per altre banda, es connecta a la xarxa elèctrica. Les instal·lacions d'autoconsum es distingeixen en tres tipus.

#### 3.1. Instal·lació d'autoconsum aïllada

Aquest tipus d'instal·lacions no es troben connectades a la xarxa de transport o distribució. S'acostumen a utilitzar bateries per emmagatzemar l'energia que es genera i no s'utilitza en aquell mateix instant, d'aquesta manera a les hores on no arriba la radiació solar es pot disposar d'electricitat. Les principals aplicacions d'aquestes instal·lacions són per a habitatges, edificis, enllumenat públic, bombament i tractament d'aigua...

Els elements que la componen són un generador fotovoltaic, un regulador de càrrega i una bateria. El regulador de càrrega s'utilitza per a evitar sobrecàrregues que es puguin produir a la bateria. A més, s'utilitza un inversor per a poder convertir el corrent continu en corrent altern. [2]

#### 3.2. Instal·lació d'autoconsum connectada a la xarxa

Aquest tipus d'instal·lació es troba connectada a la xarxa elèctrica per tant l'usuari produeix electricitat a partir dels panells solars però també en consumeix de la companyia distribuïdora. En aquest cas si l'energia generada per les plaques fotovoltaïques es menor que l'energia consumida s'agafarà de la xarxa també per a poder abastir tot el consum.

Actualment la seva instal·lació es fa en zones rurals en desús, en teulades d'habitatges aprofitant la superfície lliure...

Els elements d'aquesta instal·lació són un generador fotovoltaic, un inversor i un comptador. El generador fotovoltaic és el que transforma l'energia solar en elèctrica i aquesta dependrà de la radiació solar i de la temperatura ambient. L'inversor és l'element encarregat de transformar el corrent continu que obtenim en corrent altern. El comptador es troba situat entre l'inversor i la xarxa per a quantificar l'energia que es genera i s'injecta a la xarxa. A més també quantifica el petit consum de l'inversor en absència de radiació solar. [3][4]

### 3.2.1. Autoconsum sense excedents

Aquests sistemes impedeixen la injecció d'energia excedent a la xarxa de distribució. En molts casos s'utilitzen bateries per a poder emmagatzemar la energia excedida i aprofitar-la en hores de més demanda, en aquest cas el consumidor d'aquesta energia serà sempre el mateix.

### 3.2.2. Autoconsum amb excedents

Aquestes instal·lacions poden injectar l'energia sobrant a la xarxa de distribució. Ens podem trobar amb dos casos. Per una banda estan les *instal·lacions amb excedents acollits a compensació*, en aquest cas la comercialitzadora elèctrica compensarà la factura en funció de la energia que s'hagi injectat a la xarxa. No obstant, només es podrà fer amb instal·lacions que tinguin potències inferiors a 100 kW.

Per altre banda, estan les *instal·lacions amb excedents sense acollir compensació simplificada*. En aquest cas, en comptes de compensar la factura, es vendrà aquesta energia. El preu està posat per la legislació d'instal·lacions generadores d'electricitat.[5]

### 3.2.3. Autoconsum amb venda d'excedents a la xarxa

Hi ha un altre tipus d'instal·lació d'autoconsum que és amb venda d'excedents a la xarxa. Aquesta energia elèctrica es ven a un 0,5 €/kWh. En canvi, si només es genera l'energia justa per abastir el consum i en algun moment hi ha més demanda s'haurà de comprar l'electricitat de la xarxa on el preu és de 0,12 €/kWh.

## 4. Panells solar

Els panells solars estan dissenyats per a transformar l'energia solar en electricitat i d'aquesta manera aprofitar l'energia solar fotovoltaica. Les dues aplicacions on es poden utilitzar són: domèstiques o comercials.

Aquests estan formats per diverses cèl·lules fotovoltaiques connectades entre elles ja que una cèl·lula només pot generar uns 0,5 V en corrent continu. És per això que es connecten diverses cèl·lules en sèrie i paral·lel i s'obtenen tensions més elevades.

### 4.1. Tipus de panells

#### 4.1.1. Monocristal·lins

Els panells fotovoltaics monocristal·lins estan formats per Silici i el seu procés de creació es fa refredant lentament el cristall. A més, tenen les cantonades arrodonides.

#### 4.1.2. Policristal·lins

Els panells fotovoltaics policristal·lins es formen a partir de fondre silici brut, refredar-lo i tallar-lo en làmines ben quadrades. Aquests panells són més econòmics, no obstant, tenen una eficiència menor que els monocristal·lins ja que disposen de menys Silici.

#### 4.1.3. Silici amorf

Aquesta classe de panells també s'anomenen de capa fina. Es diferencien perquè en comptes d'estar formats per cel·les individuals unides es basen en una làmina tallada amb cel·les que estan creades i connectades per el propi mòdul. A més a més, tenen un procés senzill de fabricació i un baix cost.



## 5. Legislació

La legislació canvia segons si la instal·lació és amb excedents o sense. En aquest cas es vol una instal·lació amb excedents aollits a compensació, per tant, s'haurà de tenir en compte si és una instal·lació pròxima de xarxa interior o una instal·lació pròxima a través de la xarxa. En el primer cas es té una connexió a la xarxa interior del consumidor, en el segon cas s'uneix la instal·lació amb els consumidors a partir de la xarxa pública de distribució o transport.

Per a una instal·lació pròxima a la xarxa a l'hora de injectar energia a la xarxa es tenen dos casos: el primer cas és que el contracte estigui aollit als preus del mercat i aleshores la compensació econòmica serà el preu diari mig al que s'està venent l'energia en el moment que la injectem. En el segon cas, el contracte de subministrament està al mercat lliure i aleshores el preu al que es compensarà l'energia injectada serà negociat entre la comercialitzadora i el consumidor. El preu al que obtindrà la comercialitzadora l'energia injectada per excedents s'estableix mitjançant el *RD 244/2019, per el que es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum de l'energia elèctrica*. *En aquest cas l'energia excedida s'injectarà als altres pavellons ja que no s'arriba a abastir el consum amb les altres fotovoltaiques.* [6]

En el cas d'instal·lacions que tinguin una potència superior a 10 kW y menors de 100 kW, que és el cas d'aquest estudi ja que cap pavelló supera els 100 kW, hauran de seguir el procediment que es regeix per el *RD 1699/2011, per el que es regula la connexió a la xarxa d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència*. On s'haurà de presentar una sol·licitud a la companyia distribuïdora i aquesta tindrà un mes per a notificar la seva proposta. Una vegada rebuda la proposta es disposa de tres mesos perquè aquesta tingui vigència on s'haurà d'informar a la empresa si s'accepten les condicions.

Una vegada acceptada la proposta el sol·licitant quedarà exempt de realitzar la inscripció al Registre Administratiu d'Instal·lacions de Producció (RAIPRE) ja que la instal·lació es menor de 100 kW. [7]





## 6. Instal·lació fotovoltaica

Aquest estudi es realitzarà a partir d'un projecte anterior on ja es va estudiar com seria la instal·lació fotovoltaica a l'ETSEIB dels pavellons D, E i F. Per tant s'utilitzaran aquelles dades per a calcular la generació d'energia i per a poder-la comparar amb el consum actual de la universitat.

### 6.1. Plaques fotovoltaiques

Per a poder realitzar la simulació del que generaria la instal·lació fotovoltaica es necessitaran saber diferents paràmetres de les plaques utilitzades trets del treball anterior:

- **Angle d'orientació:** També se l'anomena azimuth i és el que forma la projecció normal de la placa amb l'eix cardinal Sud. Es va calcular que l'òptim per a aquesta instal·lació és de  $-18^\circ$ .
- **Angle d'inclinació:** És el que forma la placa amb el terra o la superfície. Es va decidir que aquest angle fos de  $31,48^\circ$  ja que es va tenir en compte l'alçada a la que es troba l'edifici del Sol.
- **Pèrdues:** Per al càlcul de pèrdues es va veure que les ombres entre edificis no en generarien per tant, les úniques que es van tenir en compte són les de l'angle d'inclinació i d'orientació on es va veure que serien d'un 5 %.
- **Tipus de plaques solars fotovoltaiques:** Es van escollir el tipus de plaques policristal·lines ja que són més econòmiques. A l'hora d'escollir el número de cèl·lules es va acabar optant per 60, per tant, un cop escollides aquestes característiques es va optar per un model de plaques solars fotovoltaiques de Bauer de 280 W amb unes dimensions de 1650 x 990 x 35 mm i de pes 17,75 kg amb una eficiència d'un 17 %. [10]

### 6.2. Inversors

Degut a que la potencia total dels pavellons junts generava una potencia nominal molt elevada es va optar per a utilitzar un inversor per a cada un en comptes d'un general per a tots. Tenint en compte la potència que genera el pavelló D ja que és la més gran, es va proposar d'utilitzar un inversor *Fronius Eco 27.0-3-S* amb una potència de 27 kW.



## 7. Càlcul de la generació

Per al càlcul de la energia que generaria el sistema fotovoltaic que es vol implantar a l'ETSEIB amb les condicions de l'apartat anterior s'utilitzaran diferents softwares per a poder contrastar les dades entre ells i escollir el que tingui unes dades que s'ajustin més a la realitat. Aquests simulen l'energia solar emesa per mes en la localització que s'escull, en aquest cas, la adreça que s'ha utilitzat per a tots és: *Avinguda Diagonal, 647, 08028 Barcelona*. A continuació es veuran els diferents resultats segons el software utilitzat.

### 7.1. PVWATTS

El primer software online utilitzat ha estat el PVWATTS, el qual funciona només per a plaques solars cristal·lines, per tant, per a realitzar l'estudi s'adapta a les condicions del sistema fotovoltaic escollit.

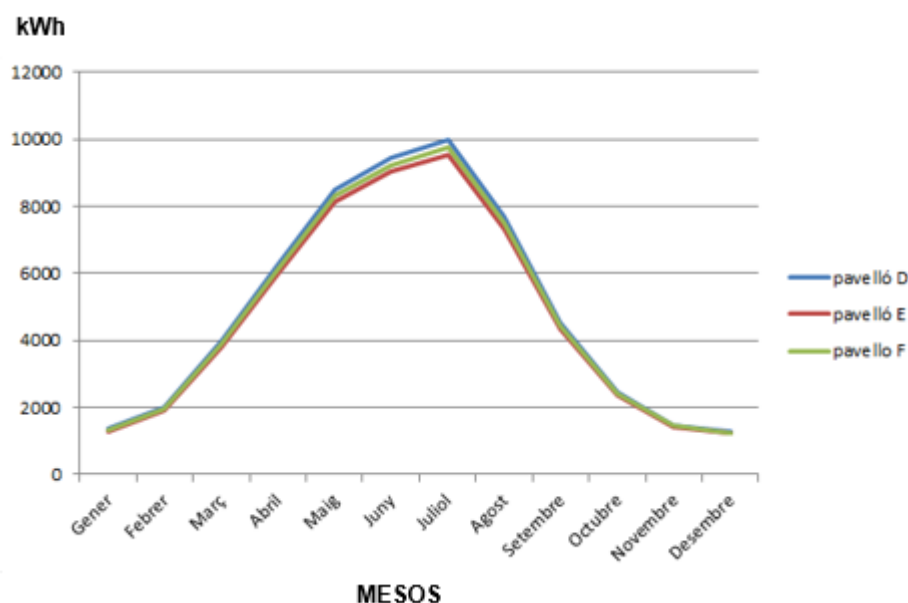
La informació que demana el software per a poder realitzar els càlculs és la següent:

- **Potència en condicions de prova estàndard:** És la potència que es va calcular que tindria el sistema sense pèrdues i varia per a cada pavelló. Aquest software té la opció de seleccionar la zona on es voldran instal·lar les plaques al google maps i d'aquesta manera et calcula la potència, trobareu una fotografia amb l'exemple a l'annex 12.1.
- **Tipus de plaques:** En aquest apartat ens descriu tres tipus de mòduls: Standard, Premium i Thin Film. La diferencia entre aquests 3 mòduls és el material del que està feta la cèl·lula i la eficiència que té. Per a plaques cristal·lines amb una eficiència del 17 % el tipus que s'adapta més és la "Standard".
- **Tipus de matriu:** S'ha escollit la opció de matriu amb inclinació fixa.
- **Pèrdues del sistema:** Aquestes són d'un 5 %.
- **Angle d'inclinació:** L'angle d'inclinació és de 31,48 °.
- **Angle d'Azimut:** L'angle d'Azimut és de -18 °, aquest programa no deixa posar angles en negatiu, per tant, l'angle que introduïrem serà de 342 °.
- **Potència de pic:** El pavelló D té una potència de pic de 30,1 kW, el pavelló E de 22,6 kW i el pavelló F de 27,1 kW

	<b>Pavelló D</b>	<b>Pavelló E</b>	<b>Pavelló F</b>
<b>Gener</b>	1359	1297	1329
<b>Febrer</b>	2004	1913	1960
<b>Març</b>	3976	3796	3889
<b>Abril</b>	6234	5953	6098
<b>Maig</b>	8514	8129	8327
<b>Juny</b>	9442	9015	9235
<b>Juliol</b>	9963	9512	9744
<b>Agost</b>	7678	7331	7510
<b>Setembre</b>	4529	4325	4430
<b>Octubre</b>	2471	2359	2417
<b>Novembre</b>	1474	1407	1441
<b>Desembre</b>	1279	1221	1251

*Taula 1. Generació fotovoltaica dels tres pavellons en kWh*

Es pot observar com els tres pavellons generaran aproximadament la mateixa energia, dada que sorprèn una mica ja que al tenir potències diferents haurien de tenir més diferència en la quantitat d'energia generada.



*Figura 1 Corba generació anual dels 3 pavellons*

## 7.2. PVGYS

En segon lloc, s'ha utilitzat la pàgina web de PVGIS per a calcular online l'energia solar que es generaria. En aquest cas, el sistema diferencia en si la fotovoltaica està connectada a la xarxa o aïllat. Les característiques que demana el software per a poder realitzar els càlculs són les següents:

- **Base de dades de la radiació solar:** Aquesta dada depèn de la zona on es trobi el sistema fotovoltaic. En aquest cas la zona és Europa, per tant, la opció escollida és la PVGIS-CMSAF.
- **Tecnologia FV:** Les plaques utilitzades seran de Silici cristal·lí.
- **Potència fotovoltaica pic instal·lada:** En aquest cas, variarà per als diferents pavellons.
- **Pèrdues del sistema:** En aquest cas les pèrdues seran d'un 5 %.
- **Angle d'inclinació:** L'angle d'inclinació és de 31,48 °.
- **Angle d'Azimut:** L'angle d'Azimut és de -18 °.
- **Posició de muntatge:** S'ha escollit la opció de *Free-standing* ja que les plaques no estaran integrades a l'edifici sinó que tindran una certa inclinació respecte el terra.

- **Potència de pic:** El pavelló D té una potència de pic de 30,1 kW, el pavelló E de 22,6 kW i el pavelló F de 27,1 kW

	<b>Pavelló D</b>	<b>Pavelló E</b>	<b>Pavelló F</b>
<b>Gener</b>	3212,5	2412,1	2892,3
<b>Febrer</b>	3541,8	2659,3	3188,8
<b>Març</b>	4805,4	3608	4326,5
<b>Abril</b>	4776,8	3586,5	4300,7
<b>Maig</b>	5449,5	4091,7	4906,4
<b>Juny</b>	5445,1	4088,4	4902,4
<b>Juliol</b>	5550,7	4167,6	4997,5
<b>Agost</b>	5270,8	3957,5	4744,5
<b>Setembre</b>	4434	3329,2	3992,1
<b>Octubre</b>	3769,7	2930,4	3394
<b>Novembre</b>	3155	2368,9	2840,6
<b>Desembre</b>	3072,6	2307	2766,3

*Taula 2. Generació fotovoltaica dels tres pavellons en kWh*

Observant les corbes de generació dels diferents pavellons es pot observar com el pavelló D és el que generarà més energia ja que és el que disposa de més metres quadrats per a poder posar plaques fotovoltaïques.

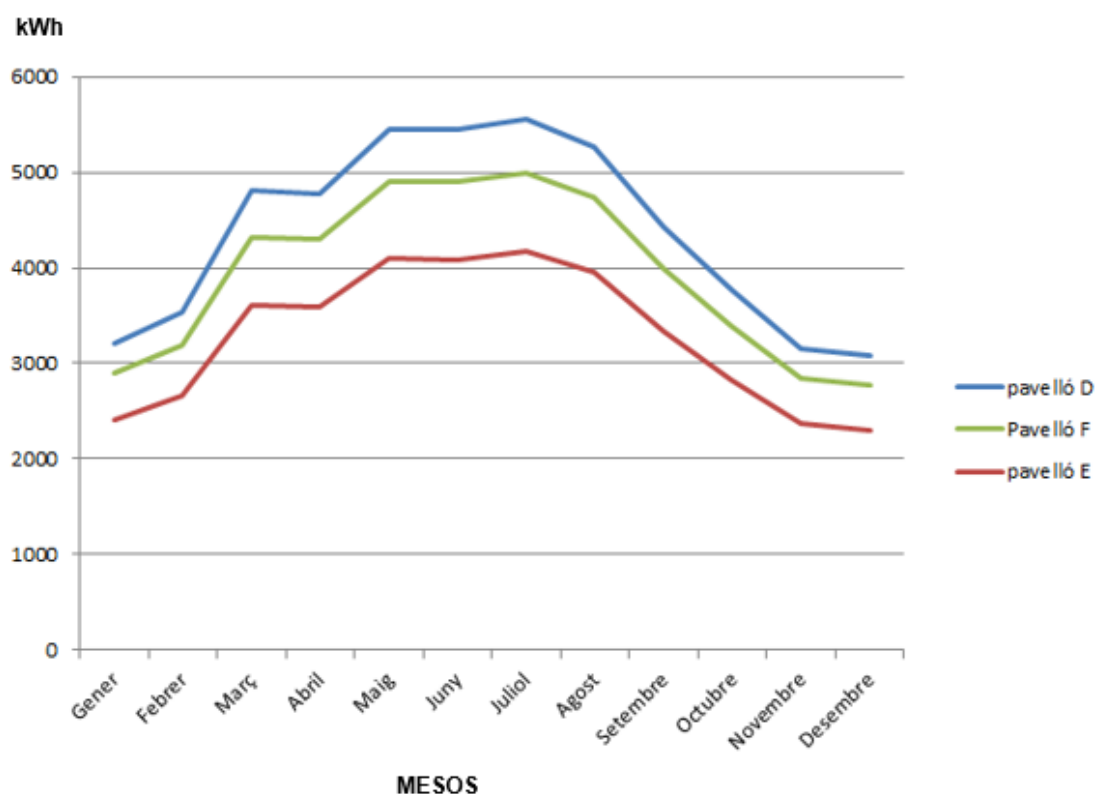


Figura 2 Corba generació dels 3 pavellons

### 7.3. PVSYST

El tercer programa utilitzat per a calcular l'energia generada mitjançant una instal·lació fotovoltaica ha estat el PVSYST. Aquest software és més precís ja que et demana més característiques de la placa com ara diferenciar-les entre si estan situades en una teulada plana o a una façana/teulada inclinada. Les característiques que s'han introduït per a realitzar els càlculs són les següents:

- **Sistema connectat a la xarxa elèctrica**
- **Angle d'inclinació:** L'angle d'inclinació és de  $31,48^\circ$ .
- **Angle d'Azimut:** l'angle d'Azimut és de  $-18^\circ$
- **Tipus de mòdul:** el tipus de mòdul serà l'estandard.
- **Tipus de cel·la:** la cel·la en aquest cas serà policristal·lina.
- **Posició de muntatge:** En aquest cas, estaran situades en una teulada plana el que

farà que generi menys energia que si la teulada fos inclinada.

- **Tipus de ventilació:** les plaques en aquest cas estaran ventilades.
- **Potència de pic:** El pavelló D té una potència de pic de 30,1 kW, el pavelló E de 22,6 kW i el pavelló F de 27,1 kW

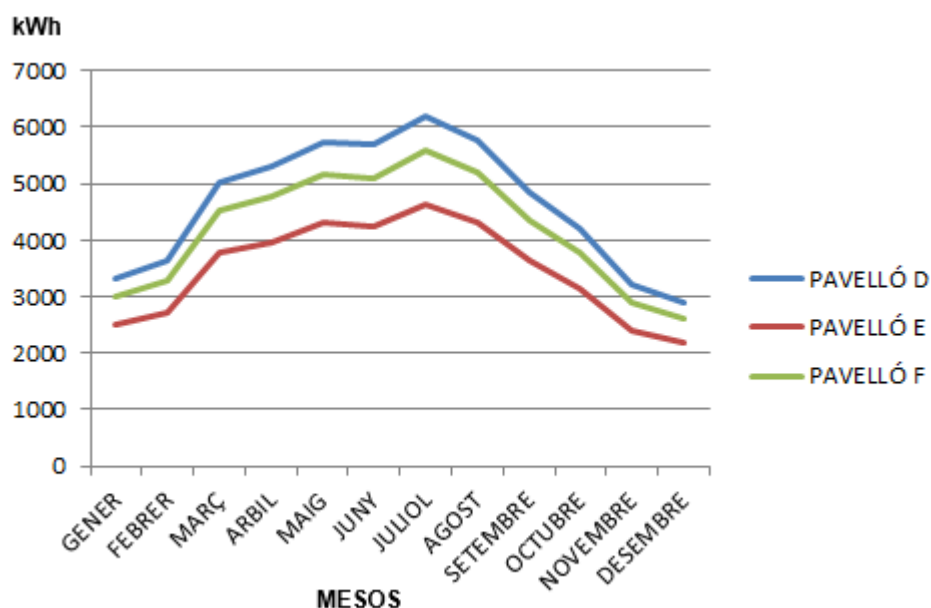
Les dades de consum mensual de cada edifici són les següents:

	Pavelló D	Pavelló E	Pavelló F
<b>Gener</b>	3336	2497	2997
<b>Febrer</b>	3642	2726	3272
<b>Març</b>	5037	3771	4525
<b>Abril</b>	5307	3973	4768
<b>Maig</b>	5746	4301	5161
<b>Juny</b>	5689	4259	5110
<b>Juliol</b>	6208	4647	5577
<b>Agost</b>	5780	4327	5192
<b>Setembre</b>	4861	3639	4367
<b>Octubre</b>	4202	3146	3775
<b>Novembre</b>	3205	2399	2879
<b>Desembre</b>	2908	2177	2612

*Taula 3. Generació fotovoltaica dels tres pavellons en kWh*



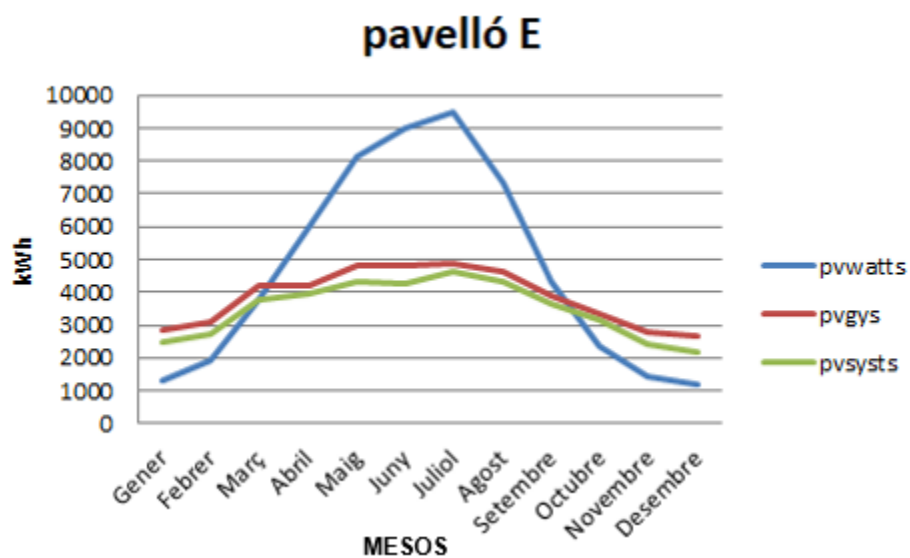
A continuació és pot veure un gràfic anual del que generaria cada pavelló calculat amb el software PVSYST



*Figura 3 Corba generació dels 3 pavellons*

## 7.4. Elecció del software

Per a poder comparar les dades de generació amb les de consum s'haurà d'escollir quines agafar dels diferents softwares estudiats. En primer lloc, s'han comparat les dades per pavellons i s'ha observat com el programa *PVWATTS* difereix molt dels altres dos programes en els mesos de Març a Setembre per tant, s'ha descartat ja que es creu que la aproximació que fa el programa dels metres quadrats on anirà la instal·lació no és del tot acurada.

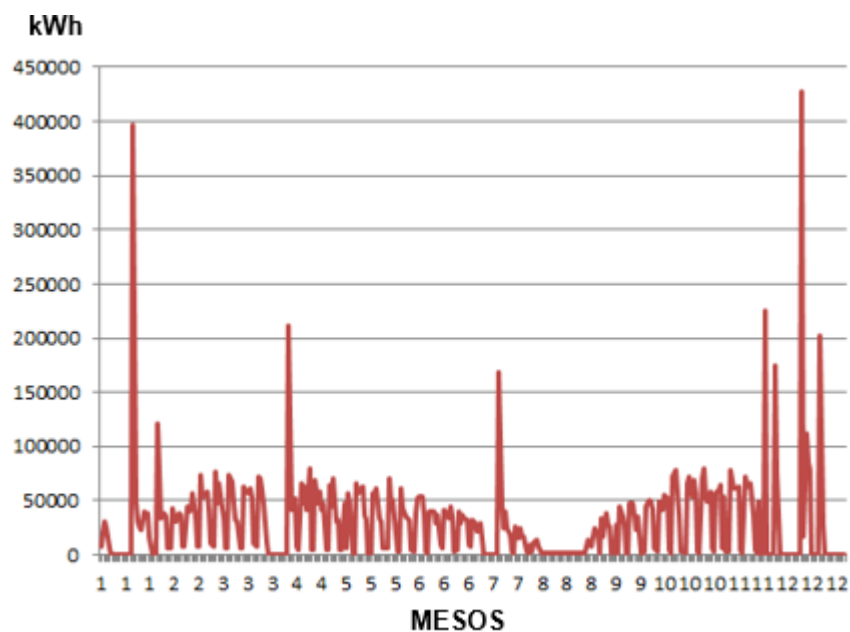


*Figura 4 corbes generació del pavelló E dels diferents softwares*

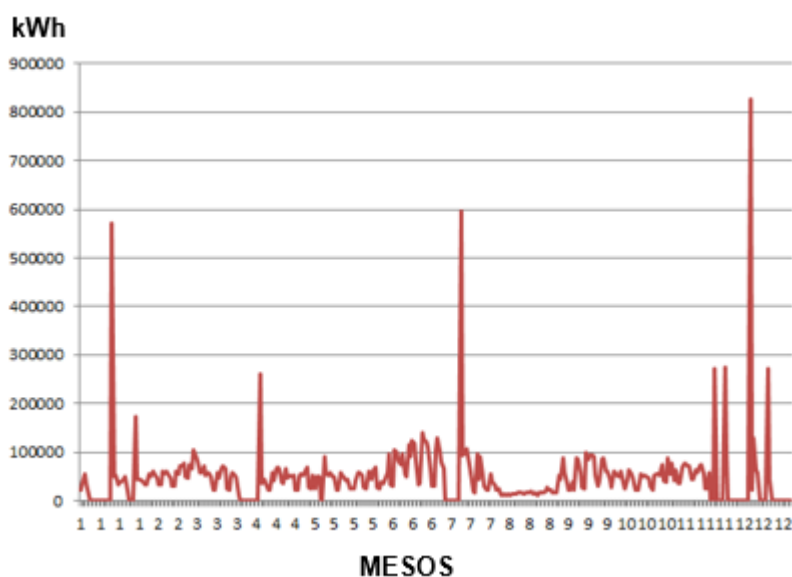
Per tant, a l'hora d'escollir entre el programa *PVGYS* o *PVSYST* s'ha vist que el *PVSYST* és més sofisticat ja que té en compte més característiques sobre les plaques que l'altre programa. Per tant, per a realitzar l'anàlisi amb el consum s'utilitzaran aquestes dades.

## 8. Anàlisi del consum

A partir de les dades de consum dels pavellons D, E i F del 2018 s'han analitzat les corbes de consum. No obstant, a l'hora d'analitzar les dades s'han trobat punts anòmals que difereixen molt de la mitja diària. A la *figura 5* i *figura 6* es pot veure un exemple dels gràfics d'energia de l'enllumenat i d'energia de la força del pavelló F anuals. L'energia de força és la que s'utilitza dels endolls. Els altres gràfics es troben a l'*annex 12.2*.



*Figura 5 gràfica anual energia enllumenat pavelló F*



*Figura 6 gràfica anual energia força pavelló F*

Per a poder comparar la corba anual del consum amb la generada per la fotovoltaica s'han eliminat aquests punts anòmals. Observant la gràfica s'han observat uns punts anòmals en els que l'energia consumida per dia era molt elevada i altres dels que no es disposava de dades, per tant, s'han hagut de canviar els valors de consum d'aquells dies. Per a fer-ho s'han classificat els punts en dies lectius (de dilluns a divendres) i no lectius (dissabtes, diumenges i festius) i s'ha distingit per mesos ja que es veia un canvi en el consum per mes. Per a tenir una corba de consum més acurada per pavelló s'ha calculat la mitja diària de cada mes, separant dies lectius i no lectius i el tipus d'energia i s'han substituït les dades anòmales per aquestes mitges.

La mitja que s'ha utilitzat de cada mes segons el tipus d'energia per els dies lectius i no lectius a cada pavelló és la següent:

- Pavelló D
  - Energia enllumenat

	<b>Dia lectiu</b>	<b>Dia no lectiu</b>
<b>Gener</b>	66.729	2.855
<b>Març</b>	108.073	1.278
<b>Abril</b>	101.031	1.410
<b>Juliol</b>	75.584	1.972
<b>Agost</b>	21.450	5.505
<b>Novembre</b>	81.732	1.579
<b>Desembre</b>	91.532	2.855

*Taula 4. Mitja diària Energia enllumenat consumida pavelló D Wh*

○ Energia força

	<b>Dia lectiu</b>	<b>Dia no lectiu</b>
<b>Juliol</b>	223.535	55.364
<b>Agost</b>	64.461	18.811
<b>Novembre</b>	100.345	43.722
<b>Desembre</b>	16.276	48.327

*Taula 5. Mitja diària Energia força consumida al pavelló D en Wh*

○ Energia planta -1

	<b>Dia lectiu</b>	<b>Dia no lectiu</b>
<b>Gener</b>	44.078	1.231
<b>Març</b>	54.940	1.231
<b>Abril</b>	48.635	6.678
<b>Maig</b>	55.016	9.945
<b>Juliol</b>	56.270	6.678
<b>Novembre</b>	53.123	8.766
<b>Desembre</b>	77.082	1.123

*Taula 6. Mitja diària Energia planta -1 consumida al pavelló D en Wh*

- Pavelló E

- Enllumenat

	<b>Dia lectiu</b>	<b>Dia no lectiu</b>
<b>Gener</b>	19.444	7.965
<b>Març</b>	27.220	6.952
<b>Abril</b>	24.119	9.999
<b>Juliol</b>	28.539	16.503
<b>Agost</b>	17.072	11.330
<b>Novembre</b>	33.342	15.352
<b>Desembre</b>	47.963	15.352

*Taula 7. Mitja diària Energia enllumenat consumida pavelló E Wh*

- Força 1

	<b>Dia lectiu</b>	<b>Dia no lectiu</b>
<b>Gener</b>	123.838	87.994
<b>Març</b>	147.507	103.881
<b>Abril</b>	95.230	60.577
<b>Juliol</b>	268.040	212.770
<b>Agost</b>	197.225	135.838
<b>Novembre</b>	90.5046	61.716
<b>Desembre</b>	96.367	61.716

*Taula 8. Mitja diària energia força1 consumida pavelló E Wh*

- Força 2

	Dia lectiu	Dia no lectiu
<b>Gener</b>	13.419	6.874
<b>Març</b>	14.735	10.637
<b>Abril</b>	39.153	29.758
<b>Juliol</b>	26.414	42.782
<b>Agost</b>	26.414	42.782
<b>Novembre</b>	25.563	45.736
<b>Desembre</b>	13.419	6.874

*Taula 9. Mitja diària energia força2 consumida pavelló E Wh*

- Pavelló F

- Enllumenat

	Dia lectiu	Dia no lectiu
<b>Gener</b>	38.134	25.810
<b>Març</b>	54.512	7.642
<b>Abril</b>	40.750	3.952
<b>Juliol</b>	40.750	3.952
<b>Agost</b>	6.118	3.952
<b>Novembre</b>	65.726	3.398
<b>Desembre</b>	82.183	25.113

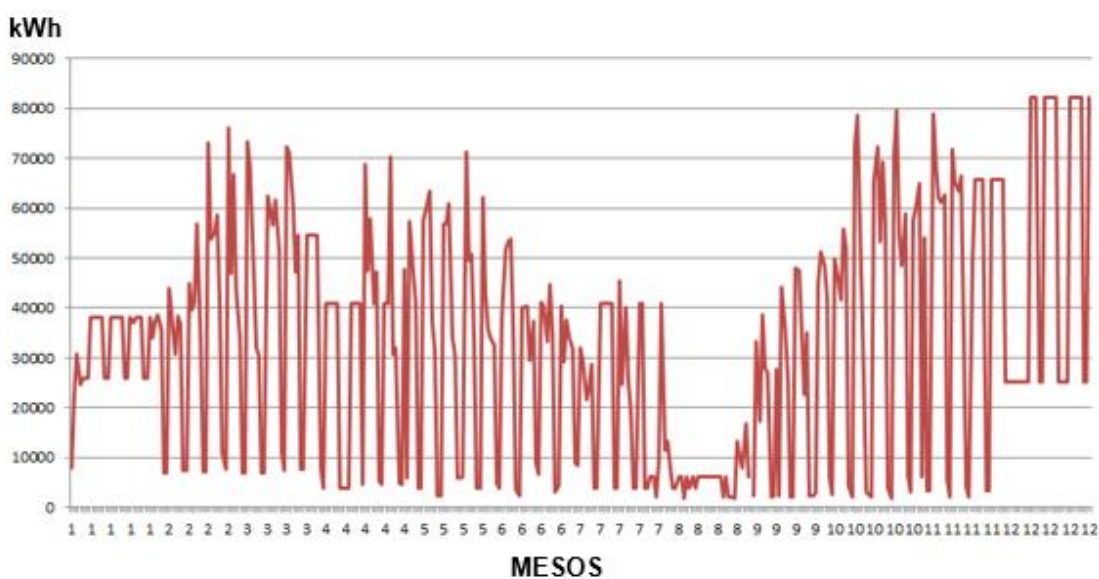
*Taula 10. Mitja diària energia enllumenat consumida pavelló F Wh*

○ Força

	Dia lectiu	Dia no lectiu
<b>Gener</b>	45.852	36.552
<b>Març</b>	59.012	34.154
<b>Abril</b>	53.935	27.263
<b>Juliol</b>	80.088	27.263
<b>Agost</b>	19.666	15.857
<b>Novembre</b>	65.837	35.287
<b>Desembre</b>	60.627	36.552

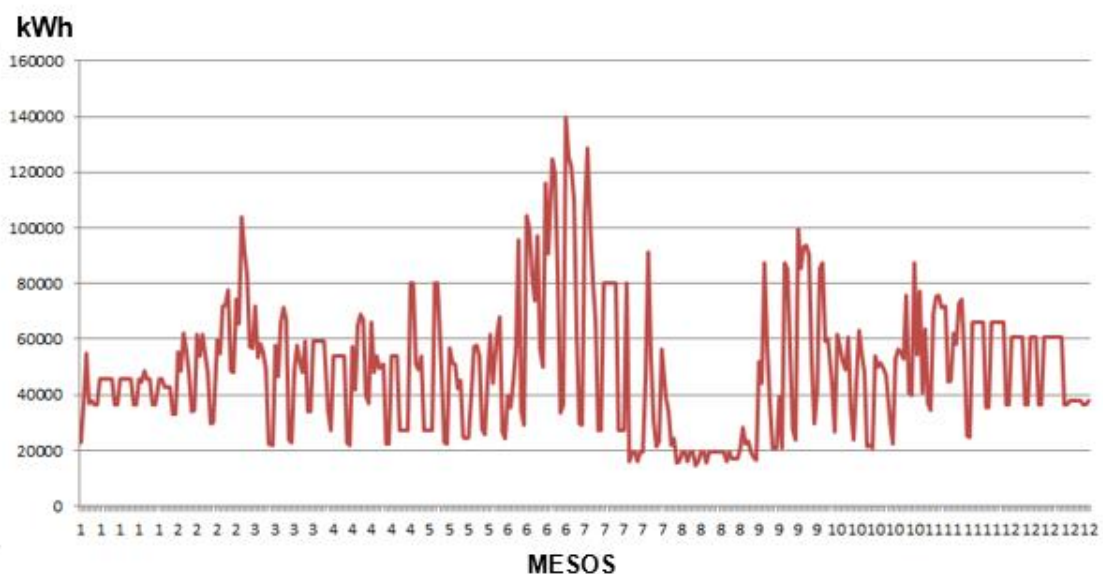
*Taula 11. Mitja diària energia força consumida pavelló F Wh*

A continuació es pot observar la corba anual del pavelló F després de treure els punts anòmals.



*Figura 7 gràfica corregida anual energia enllumenat pavelló F*

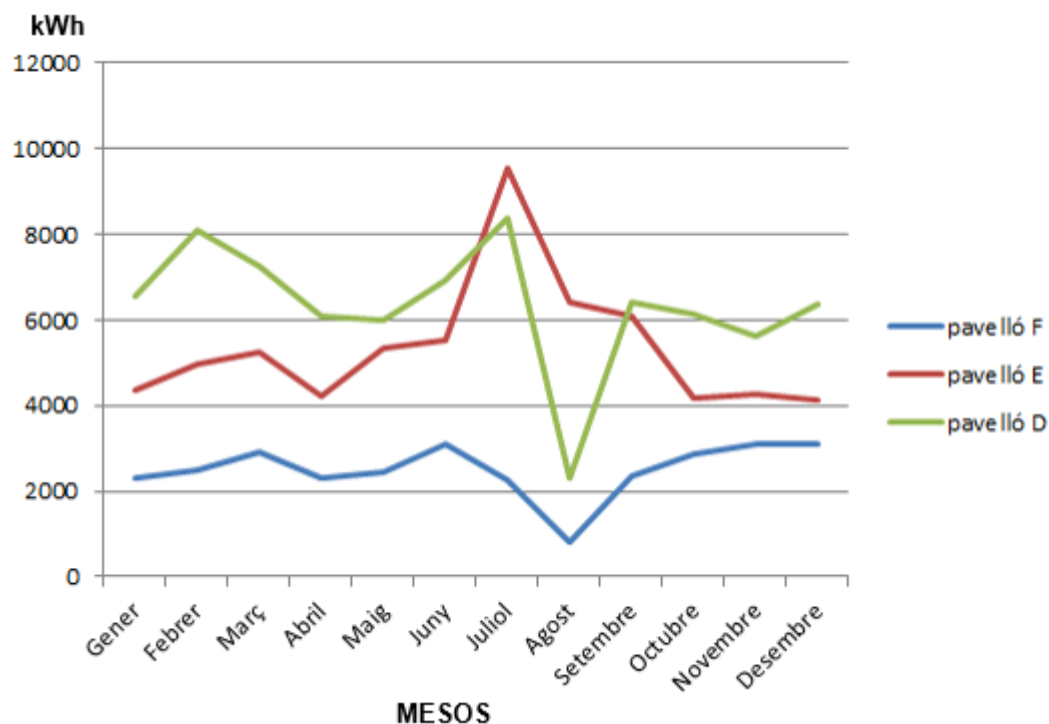




*Figura 8 gràfica corregida anual energí força pavelló F*

El procés d'eliminar aquests punts s'ha realitzat en tots els pavellons per l'any 2018 ja que dels consums del 2019 no es disposava de dades de tots els mesos i no s'han utilitzat er a contrastar-ho amb l'energia generada. A l'annex 2 es poden consultar els gràfics del consum per a cada tipus d'energia dels pavellons D i E.

És important saber com es comporta cada pavelló anualment per veure en quins mesos té més demanda energètica. El pavelló D és el que consumeix més energia anualment tot i que a la figura 3 es pot veure com al juliol i a l'agost té un baix consum d'energia i el pavelló E el supera en consum.

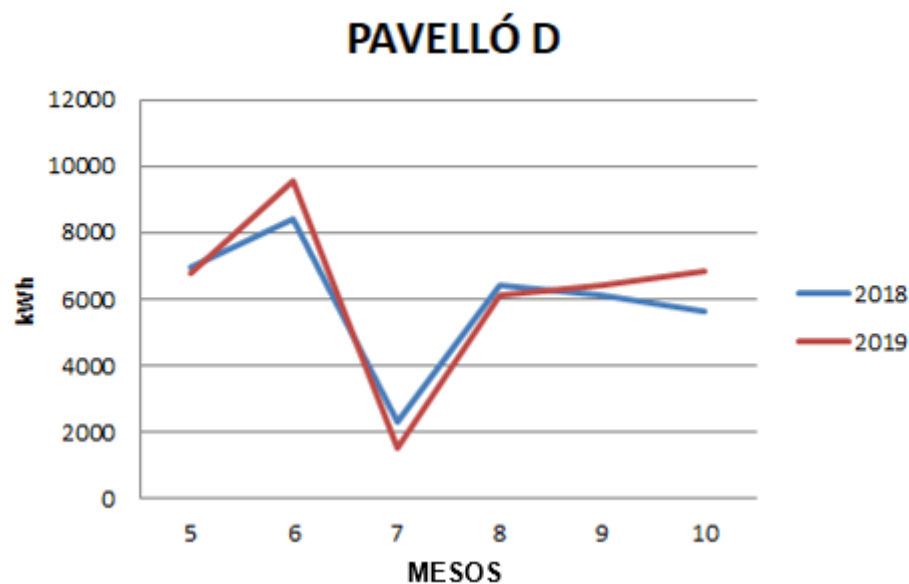


*Figura 9 gràfica del consum anual dels 3 pavellons*

## 8.1. Comparació dels consums del 2018 i 2019

Per a poder saber si l'estudi és fiable es compararan els consums del 2018 amb les dades obtingudes del 2019. D'aquesta manera es podrà analitzar si el consum varia d'un any per l'altre o és estable. No obstant, aquestes són limitades ja que només es disposen dels mesos de Juny a Novembre, pel que fa al Maig i al Desembre no es disposen de les dades de tots els dies i pels mesos restants no es disposa de dades de cap dia. A continuació es pot observar la comparació de consums mensuals per als diferents pavellons en els mesos de Juny a Novembre.

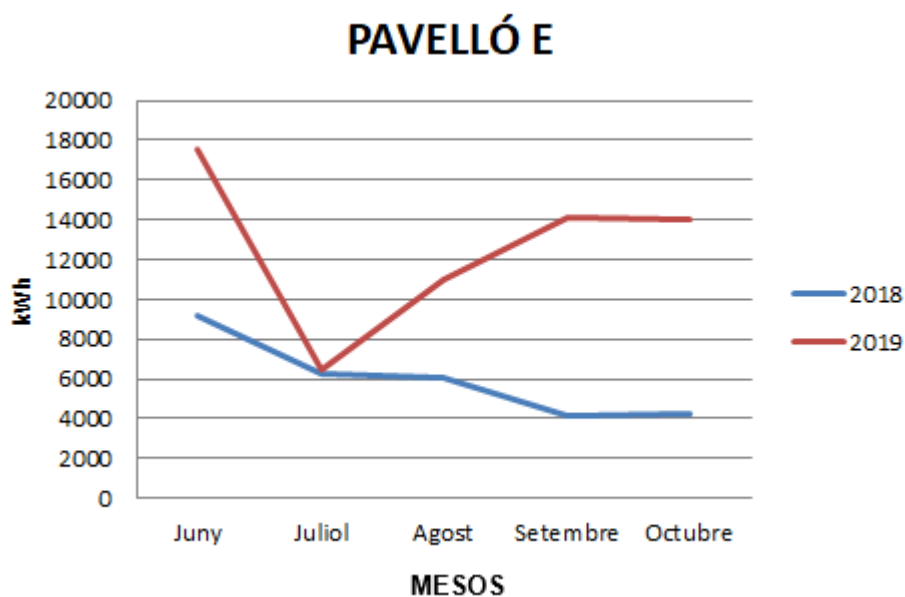
- Pavelló D



*Figura 10 gràfica comparativa dels consums del 2018 i 2019 en el pavelló D*

En el cas del pavelló D el consum mensual no variarà d'un any a l'altre per tant, els càlculs efectuats del que abastaria la generació fotovoltaica no canviarien cada any.

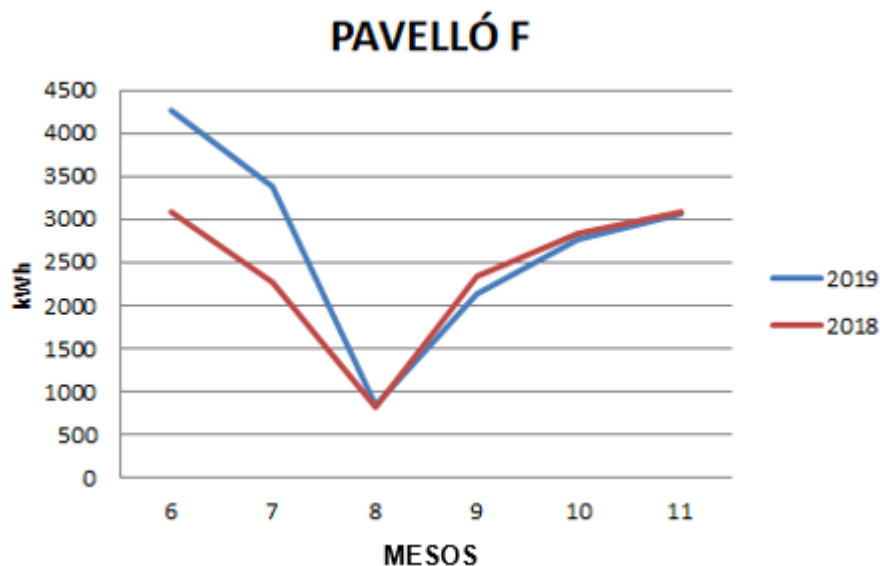
- Pavelló E



*Figura 11 gràfica comparativa dels consums del 2018 i  
2019 en el pavelló E*

Analitzant els consums del pavelló E es pot observar com varia molt d'un any a l'altre. S'ha aprofundit més i s'han comparat els diferents tipus de consums : Enllumenat, Força 1 i força 2 i s'ha vist com el consum mensual que variarà més és el de l'enllumenat.

- Pavelló F



*Figura 12 gràfica comparativa dels consums del 2018 i 2019 en el pavelló F*

Analitzant els consums mensual del pavelló F s'ha pogut observar com no varien molt d'un any a l'altre per tant, l'estudi realitzat amb les dades del 2018 serviria per a qualsevol altre any.

## 8.2. Estalvi econòmic

Cal realitzar un estudi econòmic per a saber si sortiria a compte instal·lar les plaques fotovoltaïques tot i que no arribarien a abastir el consum en tots els pavellons. Per a realitzar aquest estudi es mirarà l'estalvi anual per a cada pavelló. Actualment el preu de l'energia està a 0,15 €/kWh per tant el que s'estalviaria la universitat és l'energia generada per les plaques fotovoltaïques. En el cas del pavelló F que generaria excedents al poder-se injectar a la xarxa dels altres dos pavellons també es tindrà en compte tota l'energia ja que s'estalviarà en altres pavellons. Per tant, el benefici total anual seria de 22.575,90 € [11]

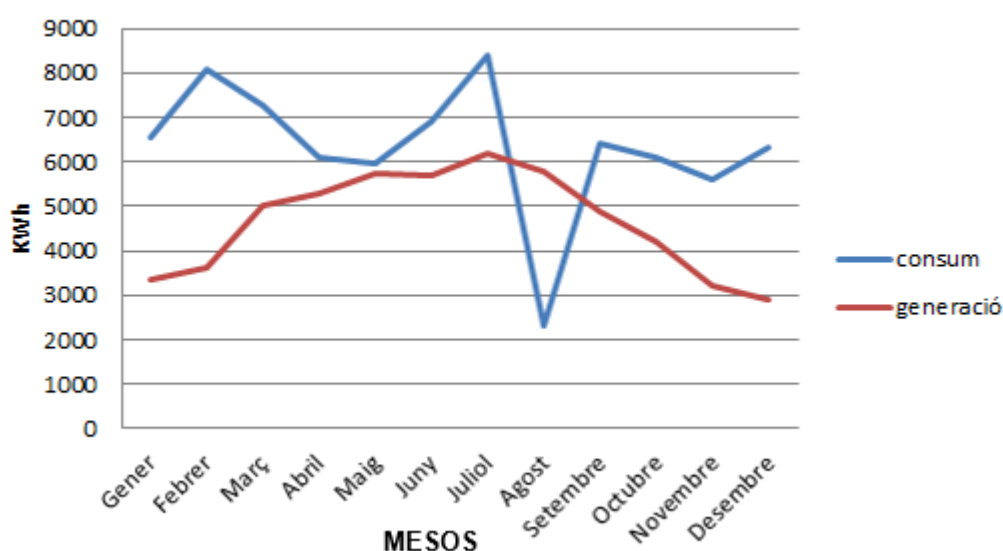
	kWh	€
PAVELLÓ D	55921	8.388,15
PAVELLÓ E	44350	6.652,50
PAVELLÓ F	50235	7.535,25
TOTAL	150506	22.575,90

*Taula 12. Energia generada i benefici anual*

## 9. Comparació de la corba de consum i generació

### • PAVELLÓ D

A la *figura 6* es pot veure com al pavelló D a l'agost es tindrien excedents i durant la resta de l'any s'abastaria la meitat del consum aproximadament mitjançant la planta fotovoltaica.



*Figura 13 gràfica del consum i la generació del pavelló D*

En quant al percentatge d'energia que s'abastaria amb la fotovoltaica es podria estalviar un 73 % de l'energia consumida anual on el mes més baix la fotovoltaica abastaria un 45 % de l'energia consumida i al agost ens trobaríem amb un excedent de 3483 kWh.

<b>Gener</b>	51,06 %
<b>Febrer</b>	45,12 %
<b>Març</b>	69,44 %
<b>Abril</b>	86,92 %
<b>Maig</b>	96,18 %
<b>Juny</b>	82,07 %
<b>Juliol</b>	73,95 %
<b>Agost</b>	251,70 %
<b>Setembre</b>	75,98 %
<b>Octubre</b>	68,68 %
<b>Novembre</b>	57,16 %
<b>Desembre</b>	45,84 %

*Taula 13. Percentatge que abastaria la fotovoltaica del consum*

- **PAVEL·LÓ E**

En el cas del pavelló E no es tindrien en cap moment excedents però s'abastaria més de la meitat del consum, excepte el mes de juliol on es produeix un pic en consum energètic bastant elevat.



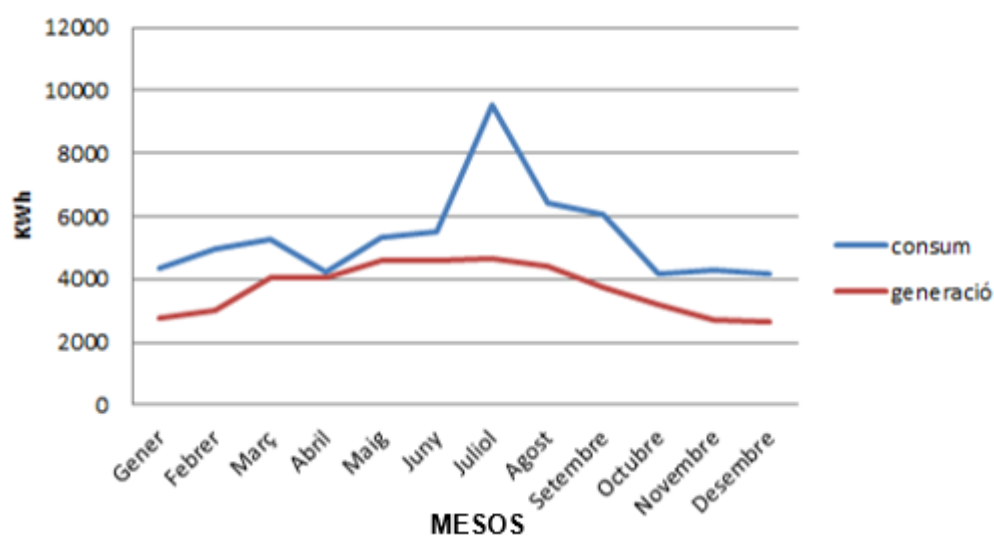


Figura 14 gràfica del consum i la generació del pavelló F

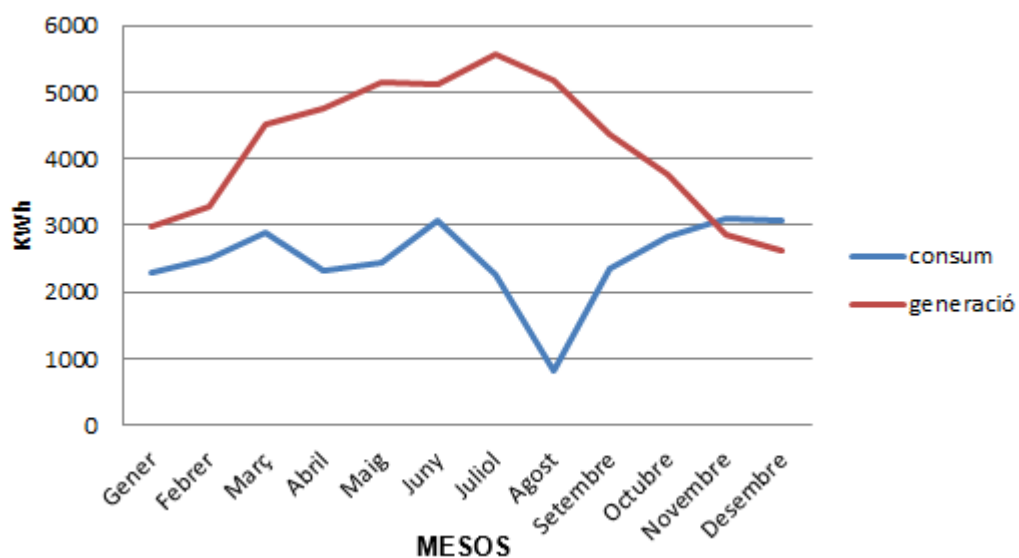
En quant a energia l'energia que s'estalviaria, la fotovoltaica abastaria un 70 % de mitja anual del consum en aquest cas el mes més baix només arribaria a abastir un 48 % del consum.

<b>Gener</b>	62,60 %
<b>Febrer</b>	60,40 %
<b>Març</b>	77,20 %
<b>Abril</b>	95,20 %
<b>Maig</b>	86,00 %
<b>Juny</b>	83,20 %
<b>Juliol</b>	48,90 %
<b>Agost</b>	69,00 %
<b>Setembre</b>	61,60 %
<b>Octubre</b>	76,40 %
<b>Novembre</b>	63,00 %
<b>Desembre</b>	63,20 %

Taula 14. Percentatge que abastaria la fotovoltaica del consum

- **PAVEL·LÓ F**

El pavelló F és l'únic que abastaria el consum i produiria excedents tot l'any excepte els mesos de novembre i desembre on no produiria tanta energia fotovoltaica. No obstant abastaria més de la meitat de l'energia consumida.



*Figura 15 gràfica del consum i la generació del pavelló F*

En el cas d'aquest pavelló s'abastiria un 167 % del consum anual on a l'agost s'arribaria a generar un 600 % de l'energia que es consumeix.

<b>Gener</b>	130,20 %
<b>Febrer</b>	130,20 %
<b>Març</b>	155,70 %
<b>Abril</b>	205,70 %
<b>Maig</b>	210,4 %
<b>Juny</b>	166,00 %
<b>Juliol</b>	244,70 %
<b>Agost</b>	642,20 %
<b>Setembre</b>	186,40 %
<b>Octubre</b>	132,80 %
<b>Novembre</b>	93,00 %
<b>Desembre</b>	84,80 %

*Taula 15. Percentatge que abastaria la fotovoltaica del consum*



## 10. IMPACTE AMBIENTAL

En el cas de que aquest projecte es dués a terme l'impacte ambiental que generaria la instal·lació de plaques fotovoltaïques és positiu ja que al utilitzar-se una font d'energia renovable, aquesta no contamina l'ambient ja que no requereix d'una combustió per a l'obtenció d'aquesta energia elèctrica. Aquest fet fa que no generi CO<sub>2</sub>, causant de l'efecte hivernacle. A més a més, en aquest cas es situarien les plaques a la teulada, per tant, no es generaria un impacte visual en el medi ambient ja que no es veurien ni alterarien el paisatge.

No obstant, la producció de les plaques fotovoltaïques sí que generaria un impacte ambiental negatiu ja que s'utilitzen materials com l'alumini, l'acer i el vidre entre altres. Tot i que l'impacte es reduiria degut a que la vida útil de les plaques és de 25 anys aproximadament.

Actualment es generen més de 75 milions de tones de CO<sub>2</sub> anuals. En el cas de generar energia elèctrica mitjançant una font convencional d'energia es produeix 20 vegades més CO<sub>2</sub> que produint la mateixa quantitat a partir d'una instal·lació fotovoltaica. A més a més, no es necessitaria transport energètic i per tant, s'evitaria l'impacte ambiental que aquests generen.

Per tant, tot i necessitar de la xarxa elèctrica per poder abastir tot el consum, l'impacte ambiental disminuiria al reduir l'ús de l'energia obtinguda per xarxa elèctrica.



## 11. Estudi Econòmic

S'ha calculat el cost d'aquest estudi per a tenir-lo en compte en el cost total del projecte i analitzar en quants anys es recuperaria la inversió. S'ha tingut en compte dos costos: el sou d'un enginyer sense experiència o en pràctiques i el ordinador que s'ha utilitzar per a realitzar el treball.

Per una banda està el cost de les hores dedicades de l'enginyer:

Concepte	Hores	Cost [€/h]	Cost total [€]
Recerca d'informació	90	20	1.800
Anàlisi de dades	150	20	3.000
Redacció memòria	110	20	2.200
<b>TOTAL</b>			<b>7.000 €</b>

*Taula 16. Cost recursos humans utilitzats*

Per l'altre banda està el cost del ordinador utilitzat que es tracta d'un intel Core i7 amb 4 GB de memòria ram. El preu d'aquest és de 682,59 € amb un cicle de vida de 5 anys. El cost indirecte que ha tingut, tenint en compte que s'ha utilitzat 4 mesos, és de:

$$cost = \frac{80 \text{ dies}}{5 \text{ anys} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{1 \text{ any}}} \cdot 682,59 \text{ €} = 29,92 \text{ €}$$

Per veure el temps que es tardaria en recuperar la inversió s'haurà de tenir en compte el cost de la instal·lació fotovoltaica i el cost dels recursos humans que es va calcular en el seu moment al treball de fi de grau *Estudi per a fer una instal·lació fotovoltaica al Campus Sud [10]* el qual donava en total 72.139,55 €.

La inversió total d'aquest projecte seria de 79.169,47 €. Per al càlcul dels anys d'amortització s'ha tingut en compte els beneficis anuals que s'haguessin obtingut al 2018 de 22.575,90 €, com que el consum de l'edifici no variarà molt d'un any per l'altre s'utilitzarà aquesta dada. Per tant, al cap de 3 o 4 anys s'haurà recuperat la inversió ja que s'haurà estalviat en energia elèctrica tot la inversió inicial. A partir del quart any es tindrà un estalvi en energia elèctrica de 22.575,90 € anuals, tot i que s'haurà de tenir en compte el cost de mantenir la instal·lació fotovoltaica en bones condicions per a que funcioni en ple rendiment.





## Conclusions

La realització de l'estudi de l'autoconsum als edificis D, E i F de l'ETSEIB ha estat realitzat amb èxit ja que s'ha pogut observar com cada pavelló consumeix diferent i s'han assolit tot els objectius proposats.

En primer lloc, després d'obtenir les dades de generació a partir de diferents programes i escollir quines eren les més precises, d'analitzar les dades de consum d'aquest pavelló i d'eliminar els punts anòmals que aquestes tenien, s'ha pogut veure com sí que seria factible tenir una instal·lació fotovoltaica al pavelló F ja que la fotovoltaica abastaria tot el consum. A més, s'ha comprovat com aquest no varia d'un any per l'altre. Es podria realitzar un estudi més exhaustiu de si sortiria a compte tenir bateries per a poder aprofitar l'energia excedida i cedir-la als altres pavellons o poder disposar d'aquesta energia en dies on el consum supera la generació fotovoltaica.

En el cas dels pavellons D i E durant l'anàlisi de la corba de consum i la de generació s'ha vist com tot i consumir més del que s'arribaria a generar sortiria a compte tenir una instal·lació fotovoltaica perquè reduiria el consum d'energia de la xarxa elèctrica i com a conseqüent es reduirien les despeses econòmiques i l'impacte ambiental. No obstant, s'hauria de realitzar un estudi més detallat degut a que aquest projecte ha estat limitat perquè els softwares utilitzats no generaven dades diàries de la instal·lació fotovoltaica el que fa que els resultats no siguin tant precisos.

Per altre banda, s'ha pogut veure com el consum mensual del pavelló D no varia molt d'un any per l'altre per tant, l'estudi realitzat amb les dades del 2018 valdria per a qualsevol any. No obstant, durant la comparació de corbes anuals de consum del pavelló E s'ha observat com el consum de l'enllumenat canviaria 10.000 Wh mensualment en relació amb les de l'any 2018 fet que fa que al 2019 ja no surti tant a compte tenir instal·lades plaques fotovoltaïques en aquest pavelló ja que el benefici econòmic no seria tant elevat. No obstant, s'hauria de realitzar un estudi amb les dades de consum del 2020 per veure si es tracta d'un cas aïllat i no hi ha diferència en els consums anuals.

Finalment, s'ha vist com la instal·lació de plaques fotovoltaïques a l'edifici generaria un benefici econòmic i per tant, valdria la pena realitzar un estudi més profund i complex per poder-ho dur a terme. L'objectiu de l'estudi s'ha complert ja que s'ha comprovat la viabilitat de l'autoconsum a l'ETSEIB.



## Agraïments

Agraeixo al meu tutor per haver-me ajudat en el procés d'estudiar el funcionament dels softwares ja que no estava familiaritzada amb ells i tota la informació facilitada.

Agraeixo també a la meva família per ajudar-me a revisar aquest projecte i pel suport que m'han donat.



## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] Avantatges i inconvenients de l'energia solar. “ ECOSOLAR”. Obtingut de: <https://www.ecosolarenergia.es/ca/noticias/avantatges-i-inconvenients-de-energia-solar-a-espanya/> [07/10/2019]
- [2] Energia Solar. Obtingut de: <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/instalacio-aillada> [07/10/2019]
- [3] Instal·lacions fotovoltaiques connectades a la xarxa.”Energia Solar”. Obtingut de: <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/instalacio-connectada-xarxa> [07/10/2019]
- [4] Canal Empresa. Obtingut de: [https://canalempresa.gencat.cat/ca/03\\_sectors\\_d\\_activitat/03\\_energia/Autoconsum/](https://canalempresa.gencat.cat/ca/03_sectors_d_activitat/03_energia/Autoconsum/)
- [5] Claves de la nueva normativa de Autoconsumo fotovoltaico. Obtingut de: <https://www.cambioenergetico.com/blog/claves-de-la-nueva-normativa-de-autoconsumo-fotovoltaico-real-decreto-244-2019/> [24/10/2019]
- [6] Boletín oficial del estado. Obtingut de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244/dof/spa/pdf> [24/10/2019]
- [7] Guia professional de tramitación del autoconsumo. “Gobierno de España”. Obtingut de: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-profesional-de-tramitacion-del-autoconsumo> [24/10/2019]
- [8] Energia solar fotovoltaica. Obtingut de: <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica> [07/10/2019]
- [9] Panell fotovoltaic. Obtingut de : <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panell-fotovoltaic> [10/9/2019]
- [10] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/166929/tfg-marcbrossa.pdf?sequence=1&isAllowed=y> *Estudi per a fer una instal·lació fotovoltaica al Campus Sud.* [12/10/2019]

[11] Precio del kWh en España. Obtingut de: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh#precio-kwh-espa%C3%B1a> [18/12/2019]

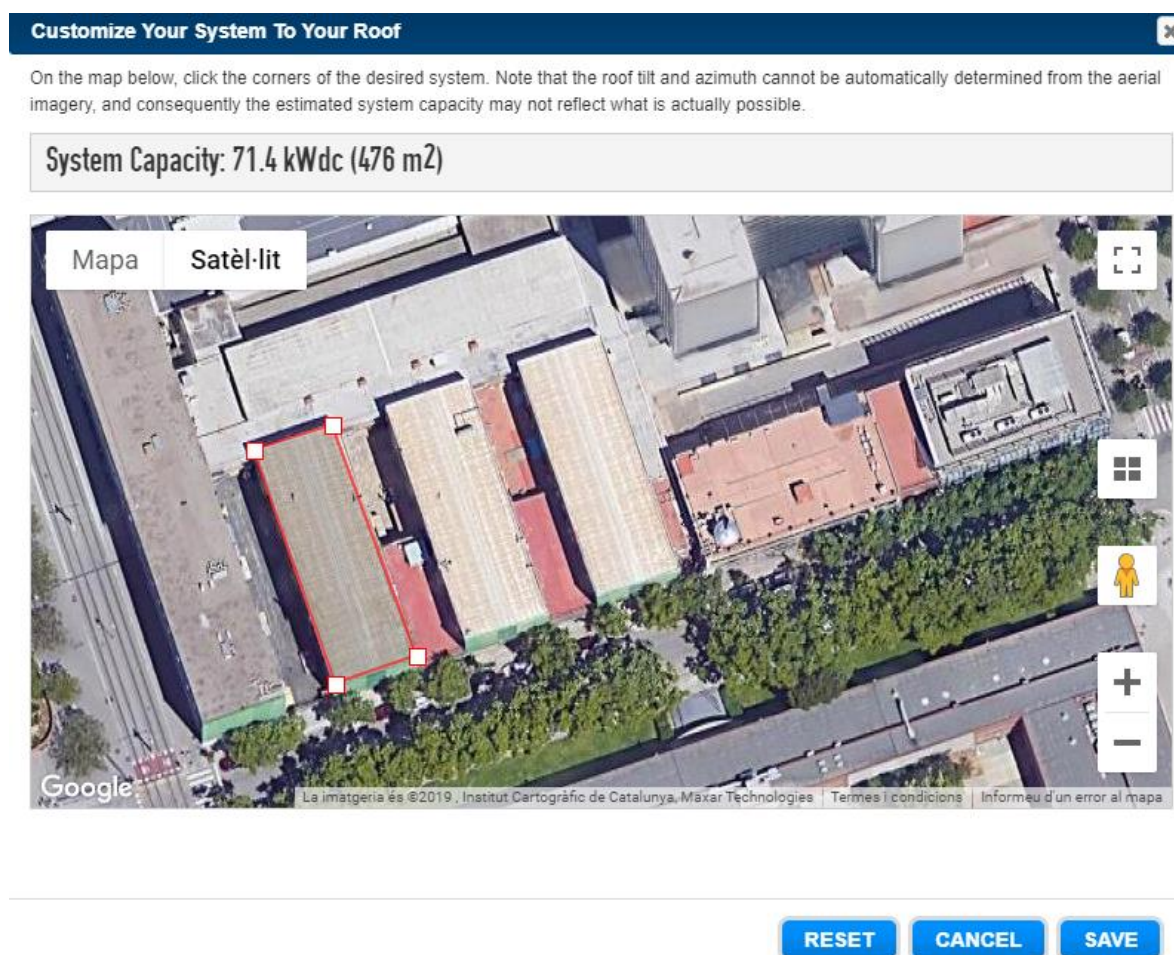
[12] PVWATTS. Obtingut de: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php> [7/11/2019]

[13] Impacte ambiental. Obtingut de: [https://www.coac.net/mediambient/renovables/energia\\_solar\\_fotovoltaica/impacte\\_fv.htm](https://www.coac.net/mediambient/renovables/energia_solar_fotovoltaica/impacte_fv.htm) [20/12/2019]



## 12. ANNEXES

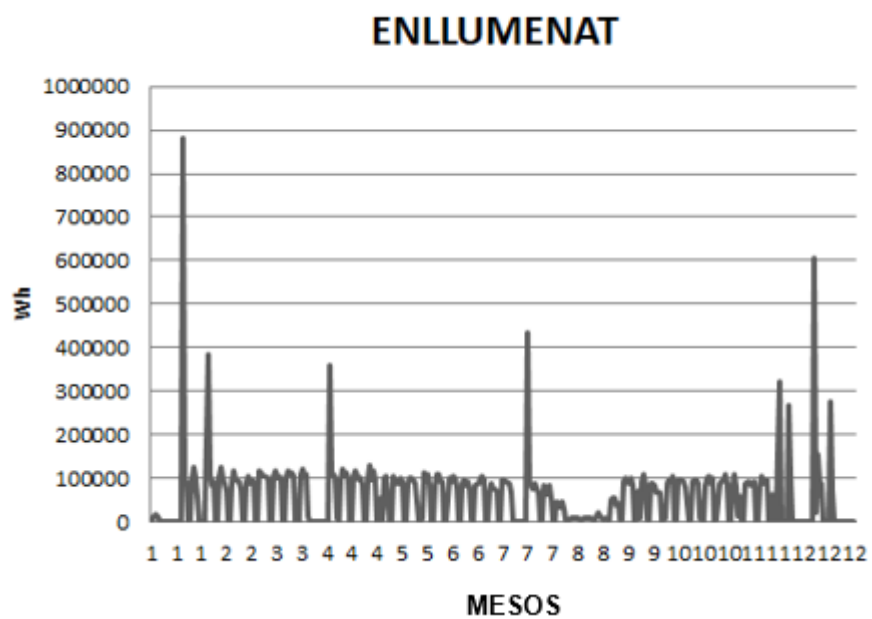
### 12.1. Exemple del programa PVWATTS



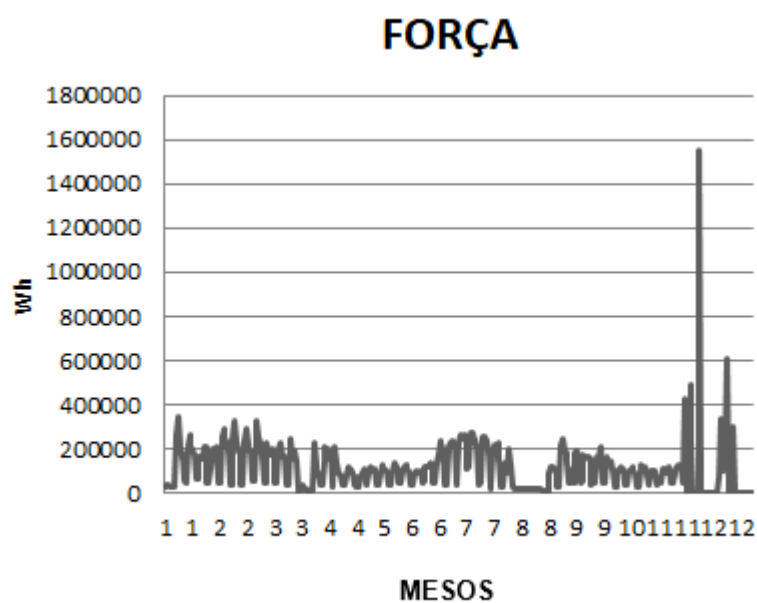
*Figura 16 Programa PVWATTS*

### 12.2. Gràfiques amb punts anòmals pavellons D i E

- Pavelló D

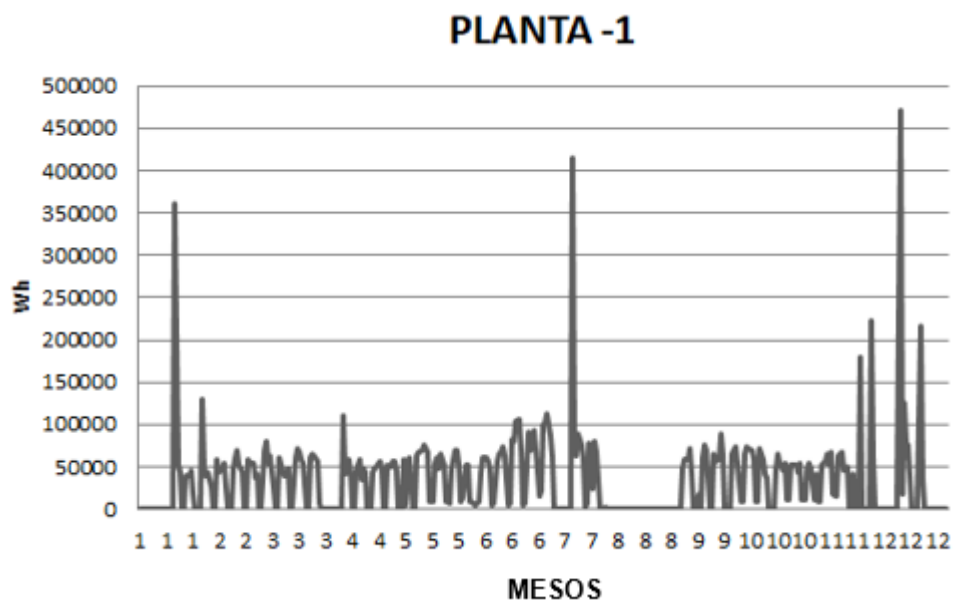


*Figura 17 Gràfica del consum d'enllumenat del pavelló D amb anomalies*



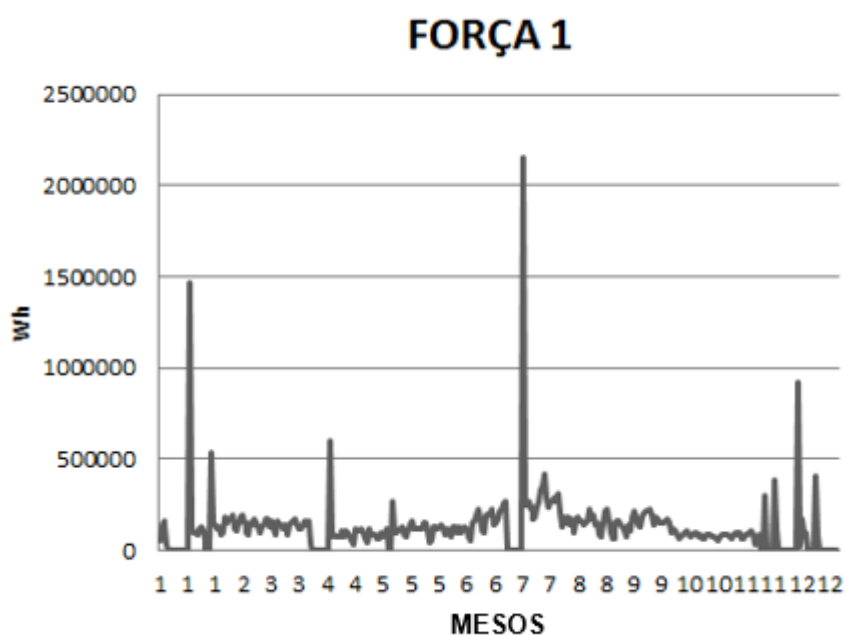
*Figura 18 Gràfica del consum de força del pavelló D amb anomalies*



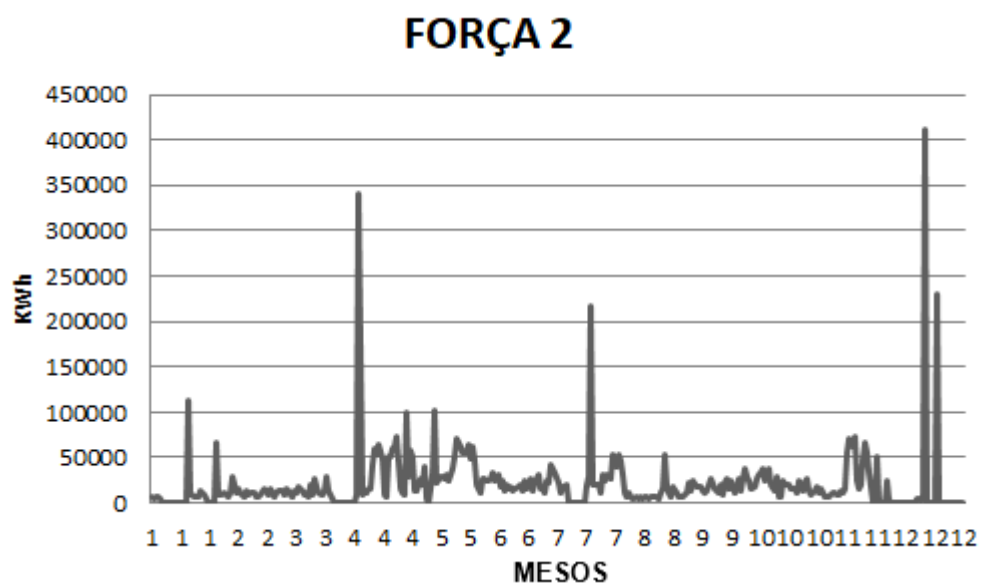


*Figura 19 Gràfica del consum de la planta -1 del pavelló D amb anomalies*

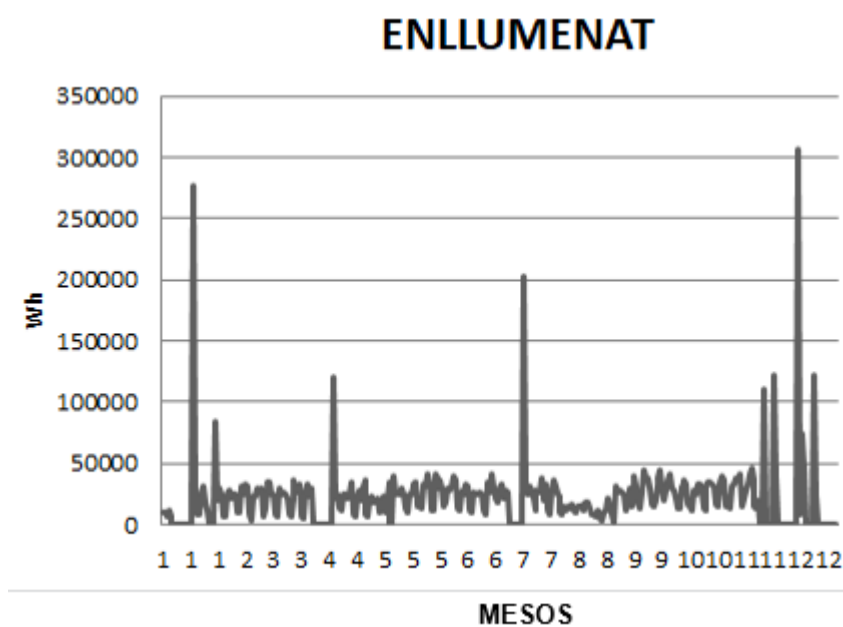
- PAVELLÓ E



*Figura 19 Gràfica del consum de força 1 del pavelló E amb anomalies*



*Figura 20 Gràfica del consum de força 2 del pavelló E amb anomalies*



*Figura 21 Gràfica del consum de l'enllumenat del pavelló E amb anomalies*